

## КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 581.1

Посвящается 80-летию профессора С.П. Габуды

СВОБОДНАЯ ВОДА В СЕМЕНАХ ФАСОЛИ:  
ПРОЦЕСС НАБУХАНИЯ ПО ДАННЫМ МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОЙ МИКРОТОМОГРАФИИИ.С. Виноградова<sup>1</sup>, О.В. Фалалеев<sup>2</sup><sup>1</sup>Сибирский государственный технологический университет, Красноярск, Россия

E-mail: vis.akadem@mail.ru

<sup>2</sup>Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН, Красноярск, Россия

E-mail: falaleev\_ov@mail.ru

Статья поступила 30 сентября 2015 г.

Представлены результаты исследования методом <sup>1</sup>H магнитно-резонансной микротомографии семян растений крупноплодных сортов лимской фасоли в процессе их набухания при контакте с водой. Исследования проведены по двумерным продольным томографическим срезам. Определены каналы, по которым вода поступает в набухающее семя, и показана неоднородность ее распределения внутри семени.

DOI: 10.15372/JSC20160427

**Ключевые слова:** <sup>1</sup>H магнитно-резонансная микротомография, семена фасоли, набухание семян, распределение воды.

В жизни семян вода играет особую роль, являясь одним из основных компонентов семени, и вместе с белками, жирами, углеводами составляет основу его клеток и определяет степень и уровень их жизнедеятельности. Для функционирования живых организмов важна не столько их общая оводненность, сколько то состояние, в котором находится в них вода. Существует несколько моделей состояния воды в биологических системах, которые менялись по мере накопления экспериментальных данных, благодаря привлечению к этим исследованиям современных физико-химических методов. В классических монографиях по физиологии растений вся вода рассматривалась как единая упорядоченная система, связанная структурными элементами клетки [ 1 ]. Дальнейшие исследования привели к появлению идеи о преобладании жидкой, несвязанной (свободной) воды в растениях. Согласно этим моделям связанная вода могла составлять от 1 до 3 % общего содержания, и она располагалась в виде одного или нескольких слоев вокруг биологических молекул [ 2 ]. В настоящее время принято считать, что вода в любых биологических объектах представляет сложную гетерофазную структуру, включающую несколько ее модификаций с разным типом взаимодействий с биологическими молекулами [ 3—5 ].

Процесс набухания семян, находящихся в состоянии вынужденного покоя, при их контакте с водой изучается различными методами: по изменению массы семян, их водного потенциала, влажности, интенсивности дыхания и других свойств. Из этих исследований установлено, что поступление влаги в семена развивается не плавно, а носит ступенчатый характер и проходит через несколько этапов. На первом этапе, для которого в литературе используется термин "физическое набухание", имеет место экспоненциальное нарастание массы семян. Поступая в семя, вода заполняет пространство между тканями и составными частями клеток. Однако вопрос о том, каким путем вода поступает в семена, либо через всю семенную оболочку, либо через отдельные участки ее поверхности, является дискуссионным [ 6, 7 ].

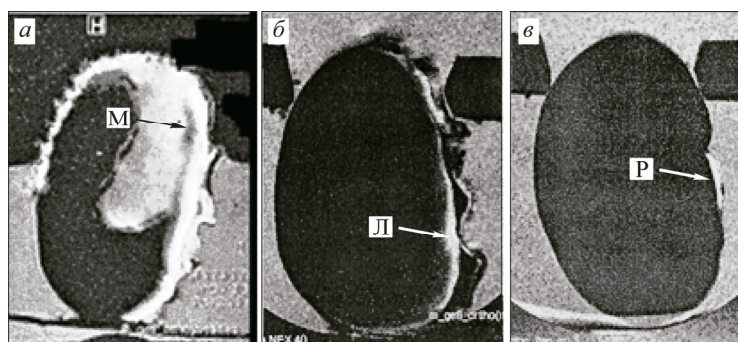
Наряду с традиционными методиками существенный вклад в выявление механизма набухания может внести метод ядерно-магнитной резонансной микротомографии (МРТ). Он позволяет вести непрерывные наблюдения за поступлением воды в семена и продвижением ее внутри семени, не прибегая к его расчленению [8—10].

В данной работе ставилась задача изучить возможные каналы вхождения воды в набухающие семена на крупноплодных образцах лимской фасоли. Процессы набухания воздушно-сухих семян фасоли изучались по изменению массы и методом МРТ на микротомографе фирмы "Bruker", используя методику градиентного эха [11]. В пробирку, предназначенную для МРТ экспериментов, помещали семя фасоли вертикально наибольшим размером и заливали дистиллированной водой из расчета количества поглощаемой жидкости по данным весовых измерений. Через определенные промежутки времени в процессе набухания записывали МРТ-изображения на продольных срезах. Срезы проводили для одного семени в количестве от 25 до 36. Томографические снимки восстанавливали с помощью матрицы 512×512 пикселей с использованием поля наблюдения 4,0 см. Период повторения импульсной последовательности составлял от 300 до 400 мс, время сигнала эха  $T_E$  составляло 4 мс, угол поворота намагниченности возбуждающим радиочастотным импульсом составлял 30°. Для увеличения отношения сигнал/шум использовали 40-кратное накопление.

На полученных в результате экспериментов изображениях (томограммах) имеются светлые и темные участки, более светлые участки соответствуют большей локальной концентрации подвижных молекул воды.

Воздушно-сухие семена фасоли содержат 7—11 % воды, которая находится в связанном состоянии, поэтому на томограммах они выглядят темными на фоне залитой в пробирку воды. При поступлении воды в семенах появляются области, окрашенные белым. В литературе выделяют три возможных канала поступления воды — микропиле (узкий канал в покровах семяпочки, или пыльцевход [12]) и рубчик (ткань в местах прикрепления семени к семяножке) [8, 10], а также линза, находящаяся ниже рубчика (строфиолум) [9, 13]. В наших экспериментах из перечисленных выше каналов для поступления воды оставался только один, другие заклеивались клеем.

Согласно нашим данным, физическая стадия набухания заканчивается в течение 10—15 ч. При этом семена поглощают воды приблизительно 100 % к их исходному весу. Эти данные по набуханию мы использовали при планировании томографического эксперимента. Результаты приведены на рисунке. Вода поступает через микропиле, продвигается по периметру, заполняет воздушную щель между семядолями (см. рисунок, *а*). Затем вода поступает в семядоли с двух сторон: со стороны щели и от периметра, пока не набухнет все семя. На рисунке, *б* набухание семени с заклеенным микропиле и рубчиком. Вода заходит в семя через линзу, по периметру



Томограммы продольных срезов набухающих семян фасоли: вода поступает через микропиле М (заклеены рубчик и линза), время набухания 5 ч (*а*); вода поступает через линзу Л (заклеены рубчик и микропиле), время набухания 6 ч (*б*); заклеены микропиле и линза, оставлен рубчик Р, время набухания 22 ч (*в*)

доходит до корешка, оводняя зародышевую ось, и дальше продвигается по периметру семени. На рисунке, *в* заклеены микропиле и линза и оставлен рубчик. За время наблюдения вода заполняет ткани рубчика, но внутрь семени она не попадает.

Таким образом, каналами для вхождения воды в набухающее семя фасоли являются микропиле и линза. Отметим, что необходимо также проводить исследования процессов сушки семян, от которых зависит их сохранность.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Сабинин Д.А.* Физиологические основы питания растений. – М.: Изд-во АН СССР, 1955.
2. *Абецедарская Л.А., Михтафутдинова Ф.Г., Федотов В.Д.* // Биофизика. – 1968. – **13**. – С. 630 – 636.
3. *Габуда С.П.* Связанная вода. Факты и гипотезы. – Новосибирск: Наука, 1982.
4. *Габуда С.П., Гайдаш А.А., Дребуцак В.А., Козлова С.Г.* // Письма в ЖЭТФ. – 2005. – **82**, № 9. – С. 697 – 700.
5. *Габуда С.П., Гайдаш А.А., Дребуцак В.А., Козлова С.Г.* // Журн. структур. химии. – 2005. – **46**, № 6. – С. 1169 – 1171.
6. *Овчаров К.Е.* Физиология формирования и прорастания семян. – М.: Колос, 1976.
7. *Гинсбург А.С., Дубровский В.П., Казаков Е.Д., Окунь Г.С., Резчиков В.А.* Влага в зерне. – М.: Колос, 1969.
8. *Pietrzak L.N., Fregeau-Reid J., Chatson B., Blackwell B.* // Can. J. Plant Sci. – 2002. – **82**. – P. 513 – 519.
9. *Kikuchi K., Koizumi M., Ishida N., Kano H.* // Ann. Bot. – 2006. – **98**. – P. 545 – 553.
10. *Garnczarska M., Zalewski T., Kempka M.* // Physiol. Plantarum. – 2007. – **130**. – P. 23 – 32.
11. *Gyngell M.L.* // Magn. Res. Imag. – 1988. – **6**. – P. 415 – 419.
12. Пыльцевход. Энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона: в 86 т. (82 т. и 4 доп.). – СПб., 1890—1907.
13. *Manning J.C., Van Staden J.* // Ann. Bot. (New Series). – 1987. – **59**. – P. 705 – 713.